

Modelo de adubação nitrogenada aplicável a rebrota de pastagens submetidas a sistemas de desfolha intermitente

D. Dourado Neto* e E. R. Detomini**

Introdução

Por estimular o perfilhamento e provocar incrementos substanciais no índice de área foliar ao longo da rebrota de pastagens, o nitrogênio (N) é o principal elemento mineral responsável por trazer incrementos substanciais ao crescimento e ao desenvolvimento das pastagens (Whitehead, 1995).

Embora a atmosfera apresente-se como uma vasta fonte de nitrogênio, o fornecimento de N através do uso de fertilizantes caracteriza-se por uma alta demanda de produto e por um alto custo energético e financeiro (Keulen et al., 1989). Outro aspecto, quando há nitrogênio em excesso ao requerimento das plantas, o N é geralmente acumulado nos vacúolos na forma de nitrato, tornando-o praticamente sem aproveitamento e, algumas vezes, tóxico aos animais (Whitehead, 1995).

Desta forma, justifica-se cada vez mais o uso de subsídios teóricos norteadores de manejo do uso racional desses fertilizantes, a exemplo dos modelos matemáticos. Os modelos representam a melhor forma de sintetizar o conhecimento sobre os diferentes componentes de um sistema, pois são capazes de sumarizar dados

e transferir resultados de pesquisa aos usuários (Thornley, 1998; Dourado Neto et al., 1998).

O objetivo deste trabalho é apresentar um modelo de adubação nitrogenada aplicável à prática da produção de forrageiras voltadas aos sistemas de gerenciamento que contemplam a desfolha intermitente (por exemplo, pastejo sob lotação rotacionada e corte de forrageiras).

Material e métodos

O modelo foi desenvolvido visando-se obter a quantidade de fertilizante nitrogenado a ser aplicado (Q_{FN} , kg/ha do fertilizante nitrogenado), utilizando os seguintes atributos:

rendimento almejado da parte exportável

(Ra_{pe} , kg/ha de fitomassa seca de parte exportável);

teor de proteína bruta na parte exportável

($T_{PB_{pe}}$, kg/kg, ou seja, kg de proteína bruta por kg fitomassa seca de parte exportável);

teor de nitrogênio na proteína bruta ($T_{N_{PB}}$, kg/kg, ou seja, kg de nitrogênio por kg de proteína bruta);

índice de colheita, que corresponde à fração de fitomassa seca que é exportável (IC , kg/kg, ou seja, kg de fitomassa seca de parte exportável por kg de fitomassa seca total);

teor de nitrogênio nas outras partes da planta ($T_{N_{op}}$, kg/kg, ou seja, kg de nitrogênio por kg de fitomassa seca de outras partes);

* Professor Associado, Departamento de Produção Vegetal (ESALQ/USP). dourado@esalq.usp.br. Bolsista do CNPq

** Engenheiro Agrônomo, M.Sc., Doutorando em Irrigação e Drenagem, Departamento de Engenharia Rural (ESALQ/USP). detomini@esalq.usp.br. Bolsista do CNPq.

seja, kg de nitrogênio fornecido pelo solo por kg de nitrogênio total extraído); teor de nitrogênio no fertilizante (T_{N_F} , kg/kg, ou seja, kg de nitrogênio por kg do fertilizante); e eficiência de adubação nitrogenada (Ef_{AN} , kg/kg, ou seja, kg de nitrogênio extraído pela planta proveniente do fertilizante por kg de nitrogênio total aplicado). A representação esquemática dos atributos do modelo é apresentada na Figura 1.

A exportação de nitrogênio (β , kg/ha) é obtida através da seguinte expressão:

$$\beta = Ra_{pe} \cdot T_{PB_{pe}} \cdot T_{N_{PB}} \quad (1)$$

Ao final de um ciclo de rebrota, o retorno acumulado de nitrogênio (α , kg/ha) com os restos culturais ao solo é assim expresso:

$$\alpha = Ra_{op} \cdot T_{N_{op}} \quad (2)$$

em que R_{op} se refere ao rendimento de outras partes (kg/ha, ou seja, kg de fitomassa seca de outras partes por ha). Como o rendimento de outras partes multiplicado pelo índice de colheita (IC) equivale ao mesmo que o rendimento almejado de parte exportável multiplicado pela fração restante, pode-se inferir que:

$$R_{op} \cdot IC = Ra_{pe} \cdot (1 - IC) \quad (3)$$

Rearranjando a Equação 3 de maneira conveniente:

$$R_{op} = \frac{Ra_{pe} \cdot (1 - IC)}{IC} \quad (4)$$

A extração de nitrogênio (γ , kg/ha) é, portanto:

Por conseguinte, a quantidade

$$\gamma = \beta + \alpha \quad (5)$$

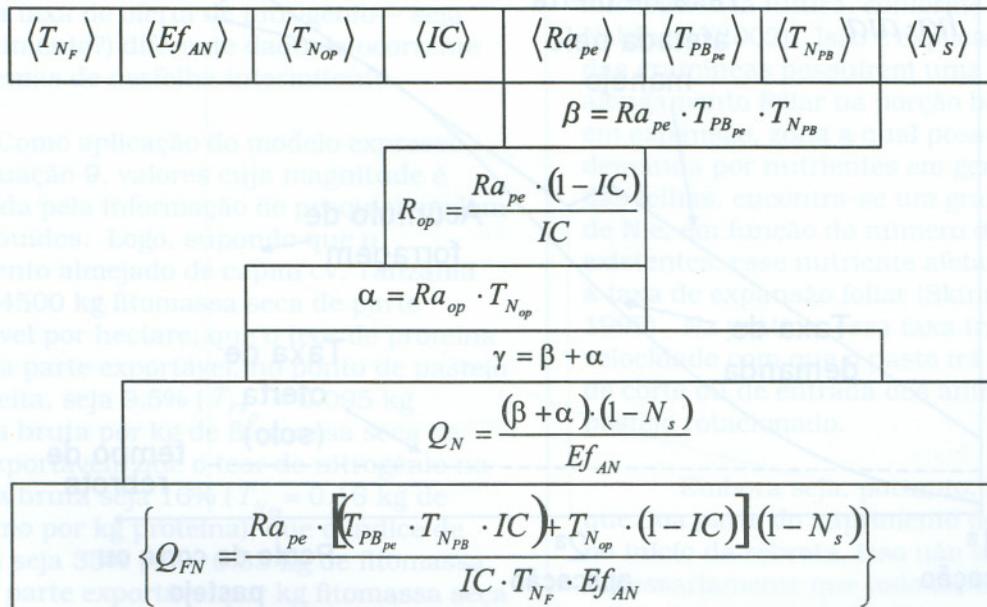


Figura 1. Representação esquemática dos atributos do modelo: $\langle \rangle$ variáveis de entrada do modelo e $\{ \}$ saída do modelo.

Por conseguinte, a quantidade requerida de nitrogênio oriunda de fertilizante (Q_N , kg/ha) será a extração de nitrogênio descontando-se a quantidade relativa de nitrogênio que é fornecida pelo solo, e levando em consideração a eficiência (Ef_{AN} , kg/kg), conforme a seguinte equação:

$$Q_N = \frac{\gamma \cdot (1 - N_s)}{Ef_{AN}} \quad (6)$$

Substituindo a Equação 5 na Equação 6, tem-se:

$$Q_N = \frac{(\beta + \alpha) \cdot (1 - N_s)}{Ef_{AN}} \quad (7)$$

Substituindo a Equação 1 e a Equação 2 na Equação 7, tem-se:

$$Q_N = \frac{(Ra_{pe} \cdot T_{PB_{pe}} \cdot T_{N_{PB}} + T_{N_{op}} \cdot R_{op}) \cdot (1 - N_s)}{Ef_{AN}} \quad (8)$$

Substituindo a Equação 4 na Equação 8, e levando-se em consideração o teor de nitrogênio no fertilizante escolhido, encontra-se a equação que nos fornece a recomendação de adubação nitrogenada (Q_{FN} , kg/ha; ou seja, kg do fertilizante nitrogenado escolhido por hectare), conforme sugerido em Dourado Neto e Fancelli (2004):

$$Q_{FN} = \frac{Ra_{pe} \cdot [T_{PB_{pe}} \cdot T_{N_{PB}} \cdot IC] + T_{N_{op}} \cdot (1 - IC) \cdot (1 - N_s)}{IC \cdot T_{N_F} \cdot Ef_{AN}} \quad (9)$$

Como subsídios teóricos ao desenvolvimento do modelo, têm-se, hipoteticamente, as produções de nitrato e de amônio pelos microrganismos existentes no solo, fazendo com que a taxa de oferta natural de nitrogênio (fornecido pelo solo) à pastagem seja praticamente constante (Figura 2) ao longo de um ciclo de rebrota (para uma dada condição climática); taxa a qual pode ser aumentada mediante um aumento na disponibilidade de carbono e de oxigênio aos microrganismos existentes no solo.

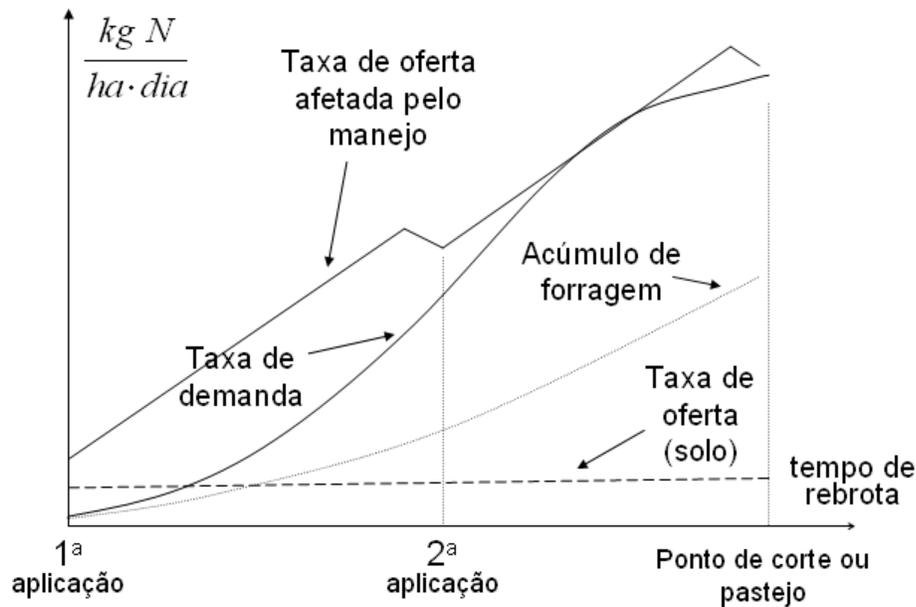


Figura 2 – Representação hipotética das curvas de taxa de oferta de N no solo e de demanda pela planta. A recomendação, quando parcelada, visa que a oferta (agora afetada pela intervenção) seja sempre superior à demanda.

Em contrapartida, tem-se a crescente taxa de demanda de N em função do aumento de fitomassa seca (Keulen et al., 1989), o que vem a requerer mudanças na taxa de oferta através da intervenção humana com a aplicação de fertilizantes nitrogenados e, se possível, com o parcelamento da quantidade requerida (Figura 2), o que é possível principalmente em sistemas irrigados por aspersão, como no caso do pivô central, por exemplo.

Resultados e discussão

O modelo é aplicável para situações de gerenciamento de sistemas que contemplam desfolhação intermitente, a exemplo do pastejo sob lotação rotacionada e das capineiras (manejadas sob corte), já que a etapa de consumo é claramente separada pelo tempo nessas modalidades de utilização do pasto. Isso não ocorre na modalidade de pastejo sob lotação contínua porque não se define, na prática, o rendimento almejado de forragem como uma meta a ser atingida nessa modalidade, mas sim um valor de índice de área foliar a ser mantido, fazendo com que a demanda de nitrogênio — dada pela integral definida das curvas de taxa de demanda menos a taxa de oferta de nitrogênio— seja (possivelmente?) diferente daquela ocorrente em sistemas de desfolha intermitente.

Como aplicação do modelo expresso pela Equação 9, valores cuja magnitude é conhecida pela informação de pesquisa podem ser atribuídos. Logo, supondo que o rendimento almejado de capim cv. Tanzânia seja de 4500 kg fitomassa seca de parte exportável por hectare; que o teor de proteína bruta na parte exportável, no ponto de pastejo ou colheita, seja 9.5% ($T_{PB_{pe}} = 0.095$ kg proteína bruta por kg de fitomassa seca de parte exportável); que o teor de nitrogênio na proteína bruta seja 16% ($T_{N_{PB}} = 0.16$ kg de nitrogênio por kg proteína); que o índice de colheita seja 35% ($IC = 0.35$ kg de fitomassa

seca de parte exportável por kg fitomassa seca total); teor de nitrogênio nas outras partes da planta seja 0.69% ($T_{N_{op}} = 0.0069$ kg de nitrogênio por kg de fitomassa seca de outras partes); que a quantidade relativa de nitrogênio fornecido pelo solo seja 62% ($N_s = 0.62$ kg de nitrogênio fornecido pelo solo por kg de nitrogênio total extraído); que o fertilizante seja a uréia ($T_{N_F} = 0.45$ kg de nitrogênio por kg de fertilizante); e que a eficiência da adubação nitrogenada seja 55% ($Ef_{AN} = 0.55$ kg de nitrogênio extraído pela planta proveniente do fertilizante por kg de nitrogênio total aplicado).

Substituindo os valores mencionados na Equação 9, tem-se:

$$Q_{FN} = \frac{4500 \cdot [(0.095 \cdot 0.16 \cdot 0.35) + 0.0069 \cdot (1 - 0.35)] \cdot (1 - 0.62)}{0.35 \cdot 0.45 \cdot 0.55} \quad (10)$$

Logo, tem-se a quantidade requerida do fertilizante escolhido:

$$Q_{FN} \cong 194 \text{ kg / ha} \quad (11)$$

O potencial fotossintético das gramíneas é, normalmente, determinado no início do período de alongamento das folhas, sendo que deficiências de nitrogênio neste período podem comprometer a eficiência fotossintética futura, conforme salientado por Nabinger (2002). Isso é explicado pelo fato das gramíneas possuírem uma ativa zona de alongamento foliar na porção basal das folhas em expansão, zona a qual possui grande demanda por nutrientes em geral. Nesse local das folhas, encontra-se um grande acúmulo de N e, em função do número de células existentes, esse nutriente afetará diretamente a taxa de expansão foliar (Skinner e Nelson, 1995). Na prática, essa taxa traduz a velocidade com que o pasto irá atingir o ponto de corte ou de entrada dos animais em pastejo rotacionado.

Embora seja, portanto, fundamental que boa parte do suprimento de N seja feito no início da rebrota, isso não significa necessariamente que todo ele deva ser feito somente neste período, já que as folhas mais jovens iniciam sua expansão em momentos diferentes, resultando em um aumento gradativo da fitomassa total de folhas desde o início da rebrota e, conseqüentemente, no aumento absoluto da absorção de nitrogênio.

Logo, sempre que possível, torna-se coerente o parcelamento da adubação nitrogenada (como é feito em outras culturas agrícolas) no intuito de garantir que a taxa de oferta de N seja sempre superior à de demanda. Em sistemas irrigados por aspersão (pivô central, por exemplo), é possível que a quantidade recomendada (Q_{FN} , kg/ha) seja feita de forma parcelada (em dois ou três vezes ao longo da fase vegetativa que antecede o ponto de colheita) através do manejo da fertirrigação. Cabe ressaltar que, como as lâminas de água aplicadas são relativamente elevadas (5 a 50 mm), verificar-se-á, geralmente, uma adequada razão de diluição (relação entre a vazão de injeção da calda fertilizante e a vazão do sistema de irrigação), possibilitando que a concentração de nitrogênio na água que sai nos emissores, que por segurança deve ser inferior a 1%, praticamente não apresente risco de queima de folhas.

O parcelamento pode melhorar também a eficiência de uso do nitrogênio; visto que esse nutriente aplicado em excesso pode ser perdido por volatilização (no caso da uréia, por exemplo) e/ou por lixiviação (Cantarella et al., 2002). Por sua vez, a magnitude das perdas de N por volatilização de NH_3 pode ser altamente afetada pela presença de resíduos vegetais na superfície do solo (devido à alta atividade da urease) e pela umidade do solo; vindo esses fatores a influenciar, portanto, na eficiência da adubação. Maiores perdas de N podem ocorrer quando o solo já estiver úmido antes da adubação, ao passo que menores perdas podem ser verificadas se houver a presença de chuvas após a adubação (Cantarella et al.,

2002).

A eficiência da adubação nitrogenada (Ef_{AN} , kg/kg) e a quantidade relativa de nitrogênio fornecida pelo solo (N_s , kg/kg) são dependentes, principalmente, da classe textural (argiloso ou arenoso, por exemplo), do teor de matéria orgânica do solo, do fertilizante utilizado (uréia, sulfato de amônio, por exemplo), da forma de aplicação (à lanço ou incorporado através da água de irrigação; localizado ou em área total), da condição climática e do sistema de produção (seqüência de cultura, se houver). Particularmente, a quantidade relativa de nitrogênio fornecido pelo solo poderá depender também da profundidade efetiva do sistema radicular (Dourado Neto e Fancelli, 2004).

A rigor, esses atributos (Ef_{AN} e N_s) são determinados concomitantemente utilizando a técnica de fertilizante marcado. Para tal, é necessário utilizar um fertilizante enriquecido com ^{15}N . Sendo assim, tem-se que trabalhar com um teor de ^{15}N acima da abundância natural (Zapata, 1990), obedecendo a seguinte expressão matemática:

$$N_s = 1 - \frac{^{15}Np - An^{15}N}{^{15}Nf - An^{15}N} \quad (12)$$

$$Ef_{AN} = \frac{\gamma}{Q_N} \cdot \left(\frac{^{15}Np - An^{15}N}{^{15}Nf - An^{15}N} \right) \quad (13)$$

em que ^{15}Np se refere à abundância (%) de ^{15}N medida na planta (adubado com fertilizante enriquecido); ^{15}Nf à abundância (%) de ^{15}N no fertilizante enriquecido; e $An^{15}N$ à abundância (%) natural de ^{15}N (igual a 0.3663%).

Supondo que ^{15}Np foi determinado experimentalmente, sendo igual a 0.7463%; e

que o fertilizante foi artificialmente enriquecido para 1.3663%, temos que:

$$1 - N_s = \frac{0.7463 - 0.3663}{1.3663 - 0.3663} = 0.38 \quad (14)$$

A grande limitação dessa técnica é, além da capacitação profissional, o custo do fertilizante enriquecido. Um grama de ^{15}N (sulfato de amônio) custa cerca de US\$ 190, ou seja, 1 kg de sulfato de amônio enriquecido com 10% de ^{15}N custa, portanto, US\$ 3800, conforme segue cálculo abaixo:

$$\text{Custo} = 1000\text{g}(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 \cdot \frac{20\text{gN}}{100\text{g}(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4} \cdot \frac{10\text{g}^{15}\text{N}}{100\text{gN}} \cdot \frac{\text{US}\$190}{\text{g}^{15}\text{N}} = \text{US}\$3800/\text{kg} \quad (15)$$

Portanto, por ser dispendiosa a pesquisa dos atributos Ef_{AN} e N_s , e vasta a amplitude de variação dos mesmos, faz-se necessário para o uso do modelo que, na prática, valores desses atributos sejam pragmaticamente assumidos conforme o tipo de solo (granulometria e teor de matéria orgânica), a condição climática, o sistema de produção, o fertilizante, a forma de aplicação e a experiência.

No que diz respeito ao teor de nitrogênio nas diversas partes da planta, Keulen et al. (1989) afirmam que, quando o suprimento de nitrogênio não é limitante, existe uma relação linear negativa entre o teor de nitrogênio nos órgãos vegetais e o estágio de desenvolvimento; e genericamente sugerem, como ordem de grandeza, valores de teor de nitrogênio em função do estágio variando de 6% a 2% para folhas, de 3% a 0.8% para hastes, e de 3.5% (emergência) a 1% (maturidade) para os tecidos do sistema radicular.

A magnitude do índice de colheita —fração da fitomassa seca correspondente àquela de interesse econômico— será

inerente ao genótipo e à oferta ambiental, de tal forma que genótipos hábeis em produzir parte aérea são favorecidos em situações de boa disponibilidade hídrica e de nutrientes (Pedreira et al., 2001). Contudo, é possível que valores de IC dificilmente ultrapassem 0.55; principalmente tratando-se de situações não experimentais, nas quais a população de plantas normalmente apresenta algum estresse hídrico.

Importante salientar também que, quando se aumentam os níveis de adubação nitrogenada sem um conseqüente ajuste no período de ‘descanso’ da pastagem no caso de lotação intermitente —ou, oportunamente, sem um ajuste na carga animal, no caso de lotação contínua—, pode-se estar permitindo um exagerado aumento de material em senescência e de material morto, além de uma redução na taxa de desenvolvimento da pastagem (Nabinger, 2002).

Na prática, o aumento na taxa de crescimento e de desenvolvimento trazida pela adição de fertilizante nitrogenado no sistema de produção resulta em elevar a produção de forragem aproveitável em tempos menores, para corte ou pastejo rotacionado, implicando no aumento do número de colheitas durante as épocas do ano mais favoráveis ao desenvolvimento do índice de área foliar; o que para pecuarista situado nos trópicos, como em boa parte das regiões do Brasil, pode acontecer durante o ano todo.

Para trabalhos futuros, sugere-se à pesquisas de plantas forrageiras que, para cada genótipo em seus diversos estádios fenológicos, principalmente no ponto de pastejo ou colheita, experimentações agrônomicas sejam feitas principalmente no sentido de determinar a magnitude do índice de colheita (IC), do teor de nitrogênio nas outras partes da planta ($T_{N_{op}}$) e da quantidade relativa de nitrogênio na planta proveniente do fertilizante ($1 - N_s$), para que o modelo possa ser utilizado em correspondência às diversas situações particulares.

Conclusões

O modelo proposto é recomendável à prática da produção de forrageiras em sistemas de gerenciamento que contemplam desfolha intermitente, a exemplo do pastejo sob lotação rotacionada e das capineiras. Contudo, os valores específicos de cada variável devem ser atribuídos pelo usuário, o qual deve permanecer suficientemente informado das magnitudes geradas pela pesquisa aplicada a cada situação.

Resumen

En condiciones tropicales, el nitrógeno es uno de los nutrimentos responsable del desarrollo sostenible de las pasturas y la fuente principal son los fertilizantes comerciales de alto costo económico y energético. En consecuencia, su uso debe ser racionalizado con el apoyo de modelos teóricos. Tomando como base 13 variables independientes, que fueron manejadas a través de nueve ecuaciones, en el Departamento de Producción Vegetal de la Escuela Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, (ESALQ/USP), Piracicaba, Brasil, se desarrollo un modelo mecanístico con el fin de racionalizar el uso de la fertilización nitrógenada en pasturas tropicales que son sometidas a cortes o pastoreo en forma controlada. Como variables principales fueron consideradas la producción de biomasa aérea, la concentración de PC en el forraje, el índice de cosecha o fracción de la biomasa realmente aprovechable, el contenido de N en la planta entera, la cantidad relativa de N proporcionada por el suelo, la cantidad de N aportada por el fertilizante y la eficiencia de la fertilización nitrogenada. La aplicación del modelo en una situación real demostró su viabilidad en sistemas de producción animal con defoliación frecuente de las plantas.

Summary

Under tropical conditions, nitrogen is one of the nutriments responsible for the

sustainable development of pastures, and the main source comes from the commercial fertilizers with high economic cost and energy, therefore, its use should be rationalized with the support of theoretical models. Having 13 independent variables, handled through nine equations, in the Department of Vegetable Production of the Superior School of Agriculture Luiz of Queiroz (ESALQ/USP), Piracicaba, Brazil, a mechanistic model was developed to rationalize the use of the nitrogenized fertilization in tropical pastures that are subject to cutting or grazing in a controlled way. As main variables were considered the shoot biomass yield, the PC concentration in the forage, the crop index or fraction of the biomass really profitable, the N content in the whole plant, the relative quantity of N provided by the soil, the quantity of N supplied by the fertilizer and the efficiency of the nitrogenized fertilization. The application of the model in a real situation demonstrated its viability in animal production systems with frequent defoliation of the plants.

Referências

- Cantarella, H.; Corrêa, L. A.; Primavesi, O.; e Primavesi, A. C. 2002. Fertilidade do solo em sistemas intensivos de manejo de pastagens. En: Simpósio sobre Manejo da Pastagem, 19, Piracicaba, 2002. Anais. Piracicaba, Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz (FEALQ). p. 99-131.
- Dourado Neto, D.; Teruel, D. A.; Reichardt, K.; Nielsen, D. R.; Frizzone, J. A.; e Bacchi, O. O. 1988. Principles of crop modeling and simulation: III. Modeling of root growth and other belowground processes, limitations of the models, and the future of modeling in agriculture. *Scientia Agricola* 55: 58-61.

- Dourado Neto, D. e Fancelli, A. L. 2004. Produção de milho. Guaíba Agropecuária. 360 p.
- Keulen, H. Van.; Goudriaan, J.; e Seligman, N. G. 1989. Modeling the effects of nitrogen on canopy development and crop growth. En: Russel, G.; Marshall, B.; e Jarvis, P. G. (eds.). Plant canopies: their growth, form and function. Cambridge: University Press, 1989. Society for Experimental Biology Seminar Series 31:83-104.
- Nabinger, C. 2002. Manejo da desfolha. En: Simpósio sobre Manejo da Pastagem, 19, Piracicaba, 2002. Anais. Piracicaba, 2002, Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz (FEALQ). p. 133-158.
- Pedreira, C. G.; Mello, A. C. de; e Otani, L. O. 2001. Processo de produção de forragem em pastagens. En: Mattos, W. R. (Comp.). A produção animal na visão dos brasileiros. Piracicaba, Sociedade Brasileira de Zootecnia (SBZ) p. 772-807.
- Skinner, R. H. e Nelson, C. J. 1995. Elongation of the grass leaf and its relationship to the phyllochron. *Crop Sci.* 35:4-10.
- Thornley, J. H. 1998. Grassland dynamics – an ecosystem simulation model. Wallingford: CAB International. 241 p.
- Whitehead, D. C. 1995. Grassland nitrogen. Wallingford, CAB International. 485 p.
- Zapata, F. 1990. Isotope techniques in soil fertility and plant nutrition studies. Austria: International Atomic Energy Agency. Training Course Series, 2. Use of nuclear Techniques in Studies of Soil-Plant Relationships. p. 61-127.